

使用绿光纳秒脉冲激光器快速切割柔性 PCB

柔性印刷电路板 (FPCB) 的广泛应用促进了多功能移动设备的开发。FPCB 已经在有机发光二极管 (OLED) 显示屏、智能手机和可穿戴设备、笔记本电脑和平板电脑，以及医疗器械和汽车部件中。它们为微型化组件和复杂互连提供了一种有吸引力的解决方案，同时又能保持良好的可靠性和使用寿命。因此，FPCB 的应用非常广泛，而这些应用的加工要求又各不相同。这些要求让类型各异的加工设备有了用武之地。

对于高质量、高精度、高速度的切割和钻孔，紫外 (UV) 激光器已成为加工 FPCB 和复杂 PCB 的首选工具。同时实践也证明，绿光纳秒激光器非常适合某些领域，例如切割复杂程度较低的 FPCB 和厚度较大的 FR4。绿光纳秒激光器的总体成本（初始成本和拥有成本）较低，并且激光器本身和系统光学元件的寿命较长，因此对于一些要求不太严苛的工艺，是值得考虑的选择。此外，绿光纳秒激光器能够以高重复频率产生相对较高的功率，利用这一特性可以提高产量。

尽管绿光纳秒激光器的价值非常明显，但人们对用其切割 FPCB 材料的技术可行性仍然存在疑问。FPCB 材料主要由铜 (Cu) 和聚酰亚胺 (PI) 薄膜层压板组成。绿光波长在铜中的吸收率与紫外线类似，因此预期性能相近。然而，绿光在 PI 中的吸收率要低得多，因此在材料基体中的传播距离更远。这导致其切割过程与紫外激光迥然相异。相对紫外光消融，绿光更多是热切割，但由于其照射体积较大，往往能提高加工产量。

为了研究绿光纳秒激光器切割 FPCB 的能力，使用 Spectra-Physics Talon® GR70 高功率绿光纳秒激光器进行实验，优化工艺并确定可能实现的质量和产量。Talon GR70 激光器在 275 kHz 的脉冲重复频率 (PRF) 可提供 70 W 的平均功率，并且能够在最高 700 kHz 下以高输出功率 (>62 W) 运行。此外，纳秒脉冲宽度也相对较短，从而使得激光器可以灵活操作，对于多种材料类型和厚度均可实现最佳效果。为证明这一点，使用这款激光器切割三种不同的 Cu/PI/Cu FPCB 薄膜层压板。每种层压板的正面和背面铜箔厚度均为约 12.5 μm，但内层 PI 膜的厚度各不相同，分别为 12、25 和 50 μm。因此，三种层压板的总厚度分别为约 37、50 和 75 μm。图 1 所示为层压板的单次切割速度，以及实现这些速度所用的激光器操作参数。

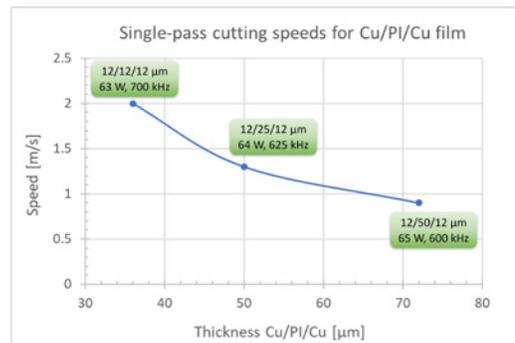


图 1. 在经过优化的 PRF 下，不同 Cu/PI/Cu 层压板的单次切割速度。

图中结果使用双轴扫描检流计和约 $16\ \mu\text{m}$ ($1/e^2$ 直径) 的聚焦光束得到。这些数据表明, 使用高功率绿光激光器可以达到很高的切割速度, 最薄的板为 $2\ \text{m/s}$, 最厚的板则接近 $1\ \text{m/s}$ 。对于约 $37\ \mu\text{m}$ (Cu/PI/Cu) 的叠层, 最佳参数为 $700\ \text{kHz}$ 下 $63\ \text{W}$, 而对于 $50\ \mu\text{m}$ 和 $75\ \mu\text{m}$ 的叠层, 最佳参数分别为 $625\ \text{kHz}$ 下约 $64.5\ \text{W}$ 和 $600\ \text{kHz}$ 下约 $65\ \text{W}$ 。显而易见, 较厚的层压板适合选用较高的脉冲能量和较低的 PRF, 而较薄的材料则适合较低的脉冲能量和较高的速率。一般而言, 理想的工艺优化需要改变聚焦情况以适应不同材料的厚度。然而, 如果所用的激光器能够在宽 PRF 范围内提供高功率输出, 这一需求便容易满足, 因此在受到固定光斑尺寸限制的情况下, 可以在较大的厚度范围内实现较高的切割速度。

由于具备宽 PRF 范围, Talon GR70 激光器对于所有三种层压板材料的切割质量均十分出色。这在图 2 中可以明显看到, 图中所示为切口的入射面和出射面。

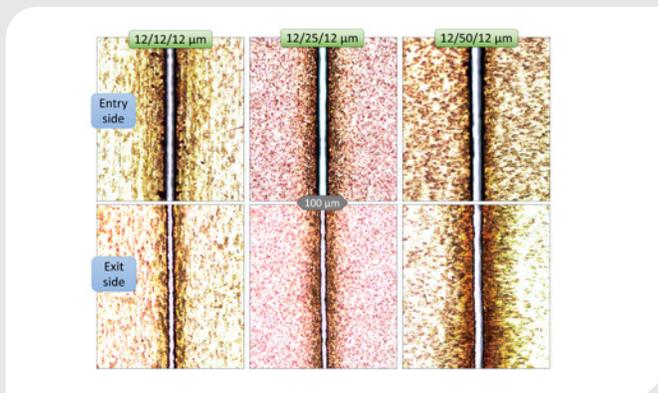


图 2. 三种不同厚度 FPCB 层压材料的切口入射面 (上图) 和出射面 (下图) 显微镜图像。

图 2 显示, 入射面和出射面的切口均干净利落, 热影响区 (HAZ) 很小。特别值得一提的是, 没有碎片和熔融材料, 并且在较宽的 ($2\times$) 材料厚度范围内外观较为均匀。总体而言, 质量接近使用紫外线波长切割时的一般情况。

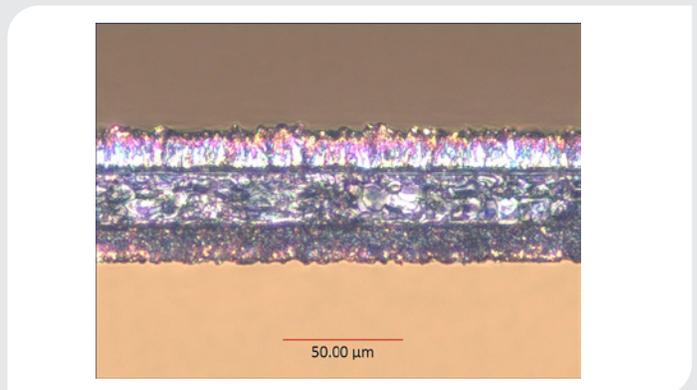


图 3. 使用 Talon GR70 激光器切割 $50\ \mu\text{m}$ 厚 FPCB 层压板后的切口横截面视图。

对切口侧壁进行横截面显微镜检查, 可以进一步评估质量。在图 3 ($50\ \mu\text{m}$ 层压板的切口) 中可以看到, 铜的烧蚀相对平滑, 与入射面和出射面处观察到的一致。虽然 PI 层表面仍然显示出一定程度的不均匀, 但较为轻微, 可能是由于烧蚀机制的某种热性质所致。最关键的是, 在 Cu/PI 界面没有分层或其他过多的 HAZ。

对于不是一定要求最高质量的 FPCB 分板或是沿最终器件外周进行的切单, 绿光纳秒激光器提供了一种成本效益高、产量高的选择。在这些情况下, 由于切割质量并非首要考虑因素, 加工工具本身的灵活性通常都很有吸引力。事实证明, Talon GR70 激光器是一种非常灵活的工具, 能够以高 PRF 和高产量对各种厚度的层压板进行高质量的切割。

产品

Talon® 紫外和绿光激光器

Talon 系列紫外和绿光半导体泵浦固态 (DPSS) 调 Q 激光器，在性能、可靠性和成本方面实现了完美结合。Talon 基于 Spectra-Physics 的 *It's in the Box* 设计，将激光器和控制器集成到一个极小的封装中。Talon 可在运行数万小时后保持较高的脉冲对脉冲稳定性和出色的 TEM₀₀ 模式质量。Talon 激光器经过专门设计，非常适合全天候制造环境中的微加工应用，

系统正常运行时间对此类环境至关重要。正如本《应用说明》所述，获得广泛的功率和波长范围可以带来极大的优势，而全面的 Talon 产品组合恰恰能够提供这一优势。Talon 具有优异的性价比：在不影响功能、性能或可靠性的前提下，提供业内低拥有成本。

	Talon UV45	Talon UV30	Talon UV20	Talon UV15	Talon UV12	Talon UV6	Talon GR70	Talon GR40	Talon GR20
波长	355 nm	355 nm	355 nm	355 nm	355 nm	355 nm	532 nm	532 nm	532 nm
功率 ²	100 kHz 时 >30 W	50 kHz 时 >15 W	50 kHz 时 >10 W	50 kHz 时 >15 W	50 kHz 时 >12 W	50 kHz 时 >6 W	275 kHz 时 >70 W	50 kHz 时 >20 W	50 kHz 时 >20 W
	150 kHz 时 >45 W 200 kHz 时 >35 W	100 kHz 时 >30 W 200 kHz 时 >23 W	100 kHz 时 >20 W	100 kHz 时 >13 W	100 kHz 时 >10 W	100 kHz 时 >4 W		100 kHz 时 >40 W 200 kHz 时 >36 W	100 kHz 时 >18 W
	300 kHz 时 >23 W	300 kHz 时 >17W	300 kHz 时 >11 W	300 kHz 时 >3 W	300 kHz 时 >3 W	300 kHz 时 >1 W		300 kHz 时 >30 W	300 kHz 时 >13 W
重复频率	0-500 kHz						0-700 kHz	0-500 kHz	
脉冲宽度	150 kHz 时 <35 ns	100 kHz 时 <25 ns				550 kHz 时 <43 ns		100 kHz 时 <25 ns	
脉冲对脉冲的能量稳定性	150 kHz 时 <2% rms	100 kHz 时 <2% rms, 典型值				50 kHz 时 <2% rms, 典型 值	最高 550 kHz 时 <3% rms	100 kHz 时 <2% rms, 典型值	
	最高 300 kHz 时 <3% rms 300 kHz 以上时 <5% rms	最高 150 kHz 时 <3% rms 最高 300 kHz 时 <5% rms, 典型值						最高 300 kHz 时 <3% rms 300 kHz 以上时 <5% rms	

	Talon HE UV500	Talon HE UV275	Talon HE GR1000
波长	355 nm	355 nm	532 nm
功率 ²	15 kHz	—	15 W, 典型值
	20 kHz	>10 W	>15 W
	40 kHz	7.7 W, 典型值	13 W, 典型值
	100 kHz	4.2 W, 典型值	10 W, 典型值
重复频率	0 至 150 kHz		
脉冲宽度	20 kHz 时 25-40 nsec	40 kHz 时 40-60 nsec	20 kHz 时 25-40 nsec
脉冲对脉冲的能量稳定性	<3% rms		